



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Kazuhisa KASHIHARA, et al.

GAU: 2874

SERIAL NO: 09/741,824

EXAMINER:

FILED December 22, 2000

FOR: ARRAYED WAVEGUIDE GRATING TYPE OPTICAL MULTIPLEXER/DEMULITPLEXER AND OPTICAL WAVEGUIDE CIRCUIT

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number [US App No], filed [US App Dt], is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.

Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).

Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

COUNTRY	APPLICATION NUMBER	MONTH/DAY/YEAR
JAPAN	11-370602	December 27, 1999
JAPAN	2000-058646	March 3, 2000
JAPAN	2000-102473	April 4, 2000
JAPAN	2000-285448	September 20, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

are submitted herewith

will be submitted prior to payment of the Final Fee

were filed in prior application Serial No. filed

were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

(A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and

(B) Application Serial No.(s)

are submitted herewith

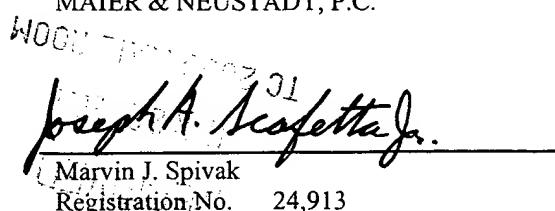
will be submitted prior to payment of the Final Fee

BEST AVAILABLE COPY

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)


Marvin J. Spivak, Jr.
Registration No. 24,913

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2000年 3月 3日

出願番号
Application Number: 特願2000-058646

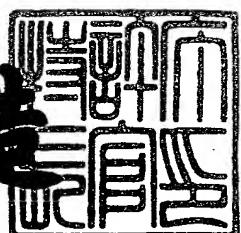
出願人
Applicant(s): 古河電気工業株式会社



2000年10月13日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3085095

【書類名】 特許願

【整理番号】 990778

【提出日】 平成12年 3月 3日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/12

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 柏原 一久

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 奈良 一孝

【特許出願人】

【識別番号】 000005290

【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100093894

【弁理士】

【氏名又は名称】 五十嵐 清

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 000480

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9108379

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 アレイ導波路回折格子型光合分波器

【特許請求の範囲】

【請求項1】 1本以上の並設された光入力導波路の出射側に第1のスラブ導波路が接続され、該第1のスラブ導波路の出射側には該第1のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いに異なる長さの複数の並設されたアレイ導波路が接続され、該複数のアレイ導波路の出射側には第2のスラブ導波路が接続され、該第2のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記少なくとも1本以上の光入力導波路の出射側と前記少なくとも1本以上の出力導波路の入射側の少なくとも一方には、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路が接続されており、該台形状導波路は対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも広幅と成していることを特徴とするアレイ導波路回折格子型光合分波器。

【請求項2】 少なくとも1本以上の光入力導波路と台形状導波路の間と、少なくとも1本以上の出力導波路と台形状導波路の間の少なくとも一方には、直線導波路が介設されており、該直線導波路は対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅と成していることを特徴とするアレイ導波路回折格子型光合分波器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信分野などに使用されるアレイ導波路回折格子型光合分波器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、光通信においては、その伝送容量を飛躍的に増加させる方法として、光波長多重通信の研究開発が盛んに行なわれ、実用化が進みつつある。光波長多重通信は、例えば互いに異なる波長を有する複数の光を波長多重化して伝送せるものであり、このような光波長多重通信のシステムにおいては、伝送される波長

多重光から互いに異なる複数の波長の光を分波したり、互いに異なる複数の波長の光を合波する光合分波器が必要である。

【0003】

この種の光合分波器には、以下のような性能が要求される。すなわち、第1に、予め定められた設定波長範囲内において、できるだけ狭い波長間隔で光の合分波を行なえることが要求される。第2に、合分波する光の中心波長付近における波長平坦性が優れていることが要求される。第3に、隣接する通過波長間のクロストーク（以下、隣接クロストークと呼ぶ）が低いことが要求される。

【0004】

上記要求性能のうち、第1の要求性能を満たす光波長合分波器の一例として、アレイ導波路回折格子（AWG；A r r a y e d W a v e g u i d e G r a t i n g）型光合分波器がある。アレイ導波路回折格子型光合分波器は、例えば図20の（a）に示すような導波路構成を有する光導波路部10を基板11上に形成したものである。

【0005】

前記導波路構成は、1本以上の並設された光入力導波路12の出射側に、第1のスラブ導波路13が接続され、第1のスラブ導波路13の出射側には、複数の並設されたアレイ導波路14が接続され、複数のアレイ導波路14の出射側には第2のスラブ導波路15が接続され、第2のスラブ導波路15の出射側には複数の並設された光出力導波路16が接続されて形成されている。

【0006】

前記アレイ導波路14は、第1のスラブ導波路13から導出された光を伝搬するものであり、互いに異なる長さに形成されている。また、光入力導波路12、光出力導波路16は、いずれも、その太さが均一に形成され、光入力導波路12、光出力導波路16の太さは互いにほぼ等しく形成されている。

【0007】

なお、光入力導波路12や光出力導波路16は、例えばアレイ導波路回折格子型光合分波器によって分波される互いに異なる波長の信号光の数に対応させて設けられるものであり、アレイ導波路14は、通常、例えば100本といったよう

に多数設けられるが、同図においては、図の簡略化のために、これらの各導波路12, 14, 16の本数を簡略的に示してある。また、アレイ導波路回折格子型光合分波器を形成する導波路構成は、一般に、図の破線軸Cに対して対称に形成されている。

【0008】

図20の(a)の鎖線枠A内の拡大図の概略図が同図の(b)に示されており、この図に示すように、従来のアレイ導波路回折格子型光合分波器においては、やや曲線形状の光入力導波路12の出射側が第1のスラブ導波路13の入射側に直接接続されている。また、同様に、第2のスラブ導波路15の出射側に、やや曲線形状の光出力導波路16の入射側が直接接続されている。

【0009】

光入力導波路12には、例えば送信側の光ファイバが接続されて、波長多重光が導入されるようになっており、光入力導波路12を通って第1のスラブ導波路13に導入された光は、その回折効果によって広がって複数の各アレイ導波路14に入射し、各アレイ導波路14を伝搬する。

【0010】

各アレイ導波路14を伝搬した光は、第2のスラブ導波路15に達し、さらに、光出力導波路16に集光されて出力されるが、各アレイ導波路14の長さが一定量互いに異なることから、各アレイ型導波路14を伝搬した後に個々の光の位相にずれが生じ、このずれ量に応じて集束光の波面が傾き、この傾き角度により集光する位置が決まるため、波長の異なった光の集光位置は互いに異なることになり、その位置に光出力導波路16を形成することによって、波長の異なった光を各波長ごとに異なる光出力導波路16から出力できる。

【0011】

例えば、同図に示すように、1本の光入力導波路12から波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ (nは2以上の整数)の波長多重光を入力させると、これらの光は、第1のスラブ導波路13で広げられ、アレイ導波路14に到達し、第2のスラブ導波路15を通って、前記の如く、波長によって異なる位置に集光され、互いに異なる光出力導波路16に入射し、それぞれの光出力導波路16を通って、

光出力導波路16の出射端から出力される。そして、各光出力導波路16の出射端に光出力用の光ファイバを接続することにより、この光ファイバを介して、前記各波長の光が取り出される。

【0012】

このアレイ導波路回折格子型光合分波器においては、回折格子の波長分解能の向上が回折格子を構成する各アレイ導波路14の長さの差（ ΔL ）に比例するために、 ΔL を大きく設計することにより、従来の回折格子では実現できなかった波長間隔の狭い波長多重光の光合分波が可能となり、高密度の光波長多重通信の実現に必要とされている、複数の信号光の光合分波機能、すなわち、波長間隔が1nm以下の複数の光信号を分波または合波する機能を果たすことができる。

【0013】

上記アレイ導波路回折格子型光合分波器に、前記光合分波器への第2の要求特性である中心波長平坦性を持たせ、各光出力導波路16から出射される光中心波長の1dB帯域幅を広くするために、例えば図16に示すような構成のアレイ導波路回折格子型光合分波器が提案されている。この提案のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、同図の(a)に示すように、図20の(a)に示した従来のアレイ導波路回折格子型光合分波器と同様の導波路構成を有し、図16の(b)および図17に示すように、各光入力導波路12の出射側が特殊な構成と成している。

【0014】

上記提案のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、特願平10-237440号に提案されているものであり、光入力導波路12の出力端に、ハ状形導波路50を形成している。ハ状形導波路50は、図17に示すように、角度 θ で拡幅するテーパ導波路部2Aと、2本の狭幅導波路部8と、角度 θ で拡幅する広幅導波路部9を有している。

【0015】

テーパ導波路部2Aの拡幅端面2Bと狭幅導波路部8の一端面8Aとの間隔はg1、狭幅導波路部8の他端面8Bと広幅導波路部9の端面9Aとの間隔はg2、狭幅導波路部8同士の間隔は、図の左側から右側にかけてCWからSWに徐々

に広く形成されている。

【0016】

この提案のアレイ導波路回折格子型光合分波器によれば、例えば図18に示すように、アレイ導波路回折格子型光合分波器によって合分波する光の1dB帯域幅を広くすることができる。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、図16、17に示したような、ハ状形導波路50を有するアレイ導波路回折格子型光合分波器は、構造が複雑であるため、製造ばらつきが生じ易く、それに伴い、性能ばらつきも大きくなるといった問題があった。

【0018】

また、このアレイ導波路回折格子型光合分波器は、上記1dB帯域幅を広くできるものの、1dB帯域幅を広くすると、波長平坦性を示すもう1つの尺度であるリップル（例えば図18のB部）が大きくなり、さらに、前記光合分波器への第3の要求特性である隣接クロストークが大きく劣化することが分かった。

【0019】

例えば、図17において、光入力導波路12の導波路幅 $W_1 = 6.5 \mu m$ 、角度 $\theta = 0.4^\circ$ 、広幅導波路部9の導波路幅 $W_2 = 17 \mu m$ 、広幅導波路部9の長さ $H = 20 \mu m$ 、狭幅導波路部8同士の間隔 $CW = 3.0 \mu m$ 、 $SW = 3.5 \mu m$ 、ギャップ $g_1 = g_2 = 5.0 \mu m$ とし、全ての導波路の高さを $6.5 \mu m$ とし、比屈折率差 $= 0.8\%$ とし、さらに、波長間隔 100 GHz （波長 $1.55 \mu m$ 帯域において約 0.8 nm 間隔）となるように製造した5個のアレイ導波路回折格子型光合分波器の特性を表1に示す。

【0020】

【表1】

	1dB帯域幅(nm)	リップル(dB)	隣接クロストーク(dB)
サンプル1	0.45	0.7	-20
サンプル2	0.42	0.6	-23
サンプル3	0.38	0.3	-28
サンプル4	0.50	1.0	-18
サンプル5	0.35	0.2	-29

【0021】

なお、表1において、隣接クロストークは、中心波長に対して 0.8 ± 0.1 nmの波長範囲内における最悪クロストークとした。

【0022】

表1に示すように、設計寸法が同じであるにもかかわらず、5個のアレイ導波路回折格子型光合分波器（サンプル1～5）は、製造寸法ばらつきに起因して性能ばらつきが大きく、1dB帯域幅が広いものほどリップルと隣接クロストークの劣化が大きいことが分かった。

【0023】

一般に、波長多重光伝送システム側から光合分波器に対して要求されている要求性能は、1dB帯域幅が $0.3 \sim 0.4$ nm以上、リップルが0.5dB以下、隣接クロストークが-26dB以下とされているので、例えば1dB帯域幅を0.35nm以上、リップルを0.5dB以下、隣接クロストークを-26dB以下と規格すると、表1のサンプル1～5のうち、3個は不良となって、歩留まりは2/5となってしまう。また、この規格のうち、1dB帯域幅のみを0.4 nm以上と変更した場合、表1のサンプル1～5は、いずれも不良となってしまう。

【0024】

したがって、図16、17に示した構成では、前記光合分波器に対する第2、第3の要求特性を満足することはできず、この第2、第3の要求特性を満足することができる優れたアレイ導波路回折格子型光合分波器の実現が求められていた。

【0025】

本発明は、上記従来の課題を解決するためになされたものであり、その目的は、上記1dB帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低く、製造歩留まりの高いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することにある。

【0026】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、第1の発明は、1本以上の並設された光入力導波路の出射側に第1のスラブ導波路が接続され、該第1のスラブ導波路の出射側には該第1のスラブ導波路から導出された光を伝搬する互いに異なる長さの複数の並設されたアレイ導波路が接続され、該複数のアレイ導波路の出射側には第2のスラブ導波路が接続され、該第2のスラブ導波路の出射側には複数の並設された光出力導波路が接続されて成る導波路構成を有し、前記少なくとも1本以上の光入力導波路の出射側と前記少なくとも1本以上の出力導波路の入射側の少なくとも一方には、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する斜辺が直線の台形状導波路が接続されており、該台形状導波路は（その幅が台形状導波路の全領域において）対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも広幅と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0027】

また、第2の発明は、上記第1の発明の構成に加え、前記少なくとも1本以上の光入力導波路と台形状導波路の間と、少なくとも1本以上の出力導波路と台形状導波路の間の少なくとも一方には、直線導波路が介設されており、該直線導波路は対応する光入力導波路または光出力導波路の幅よりも狭幅と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0028】

前記の如く、アレイ導波路回折格子型光合分波器において、例えば光入力導波路とアレイ導波路との接続部構成を、図16の（b）や図17に示した構成とすることにより、上記1dB帯域幅を広げることが可能である。そこで、本発明者は、上記1dB帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレ

イ導波路回折格子型光合分波器を構成するために、光入力導波路とアレイ導波路との接続部構成に着目した。そして、従来のアレイ導波路回折格子型光合分波器や図16に示したアレイ導波路回折格子型光合分波器とは異なる、新たな構成のアレイ導波路回折格子型光合分波器を、以下の検討に基づいて提案することにした。

【0029】

本発明者が、本発明のアレイ導波路回折格子型光合分波器を提案するにあたり、まず、図17に示した構成を備えたアレイ導波路回折格子型光合分波器において、広幅導波路部9の出力端から第1のスラブ導波路13に入射する光の電界振幅分布（光振幅）を周知のビーム伝搬法によりシミュレートしたところ、図19に示すような結果が得られた。

【0030】

そして、この結果から、以下の着想を得た。すなわち、同図に示すように、この光電界振幅分布は、二山形状を呈しており、2つの山の間隔cが広くなると1dB帯域幅が広くなる。したがって、間隔cの変動を受けて1dB帯域幅が大きく変動する。また、2つの山の間（電界振幅分布の中央部分）の落ち込み部分bが大きくなるとリップルが大きくなる。さらに、間隔cを広くすると、必然的に落ち込み部分bが大きくなることが分かった。したがって、上記提案の構成においては、2つの山の間隔cが広くなるように設計すれば1dB帯域幅を大きくできる反面、リップルも大きくなってしまうことになる。

【0031】

また、なだらかな裾の部分a1、a2の影響を受けて、隣接クロストークの劣化が起こると推論した。

【0032】

そして、この推論に基づき、アレイ導波路回折格子型光合分波器の光入力導波路側から第1のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布が、第1のスラブ導波路の入射面において以下の形状の電界振幅分布となるようにすれば、1dB帯域幅を大きくし、かつ、リップルを小さくし、さらに、隣接クロストークの劣化を抑制できると考えた。

【0033】

すなわち、上記第1のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布が、図19における落ち込み部分bを小さくできるように、理想的には3山以上の山形状を呈し、図19における間隔cを大きくできるように両端側の山の間隔が大きく、かつ、図19に示したような、なだらかな裾野部分a1、a2が生じない形状の光電界振幅分布形状となるようにすれば、上記効果を発揮できると考えた。

【0034】

なお、図17に示した構成において、特に、2本の狭幅導波路部8の導波路幅や相互の間隔が大きいと、1dB帯域幅、リップル、隣接クロストークのばらつきを大きく左右することも分かったので、新規の導波路構成は、同図に示したように、複数の導波路を間隔を介して配列するような構成でない導波路構成を有するものが好ましいと考えた。

【0035】

そして、光入力導波路と第1のスラブ導波路との接続部分の構成を様々に検討したところ、本発明のように、光入力導波路の出射側に、第1のスラブ導波路側に向かうにつれて拡幅する（例えば斜辺が実質的にほぼ直線の）台形状導波路を接続し、この台形状導波路の上底（光入力導波路側の辺）が光入力導波路の幅よりも広幅として台形状導波路の全領域において光入力導波路幅より広幅とすることにより、第1のスラブ導波路の入射面において、光入力導波路側から第1のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布を、例えば図5に示すような3山以上の理想的な形状にできることを見出した。

【0036】

この理由は、台形状導波路に入射したときに規格化周波数を2.4以上となるようにすることにより、光が台形状導波路の幅方向に一気に広がり、ついで台形状導波路において光の電界振幅分布を変化させながら伝搬していく。そして、台形状導波路がアレイ導波路側に向かうにつれて拡幅していることから、光電界振幅分布の裾野部分を切り落としていくようにして（裾野部分の立ち上がりを良好にして）、かつ、光電界振幅分布の山形状の間隔を広くしていくためであると、本発明者は考察している。

【0037】

本発明は、上記検討に基づいて例えば光入力導波路の出射端側に上記台形状導波路を設けることにより、第1のスラブ導波路の入射面における光入力導波路側から第1のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布を、例えば図5に示したように、3山以上の山形状を呈し、この山のうち両端側の山の間隔が大きく、かつ、図19に示したような、なだらかな裾野部分a1、a2が生じない形状とすることができる、それにより、1dB帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することが可能となる。

【0038】

特に、本発明において、例えば光入力導波路と台形状導波路との間に光入力導波路幅より狭幅の直線導波路を設けることにより、光入力導波路が曲線部を有していて、光がこの曲線部を伝搬するときに光強度分布の中心位置が光入力導波路幅方向中心位置からはずれたとしても、直線導波路を通るときに光強度分布の中心位置を直線導波路中心に移動させることができ、光強度中心を台形状導波路の幅方向中心に入射できるため、台形状導波路を出射する光強度分布形状を全体的に歪みの無いものとすることが可能となる。

【0039】

なお、アレイ導波路回折格子型光合分波器は光回路の相反性を利用して形成されているので、各出力導波路の入射側に、光出力導波路幅よりも広幅で、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する（例えば斜辺が実質的にほぼ直線の）台形状導波路を接続した場合も同様に、1dB帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することが可能となる。

【0040】

また、上記本発明の構成は、図17に示したような複雑な構成でなく、簡単な構成であるため、容易に製造可能で、製造歩留まりの高いアレイ導波路回折格子型光合分波器となる。

【0041】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、本実施形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。図1の(a)には、本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第1実施形態例の要部構成図が、その動作と共に模式的に示されており、図1の(b)には、同図の(a)に示す破線枠A内の拡大図が示されている。さらに、この拡大図における1本の光入力導波路12の端部をより具体的に示したものが、図2に示されている。

【0042】

本実施形態例は、図1の(a)に示すように、図16、20に示したアレイ導波路回折格子とほぼ同様に構成されており、本実施形態例が従来例および提案例と異なる特徴的なことは、図1の(b)および図2に示すように、各光入力導波路12の出射側に、光入力導波路12の幅よりも狭幅の直線導波路1を接続し、さらに、各直線導波路1の出射側に、前記各光入力導波路12の幅よりも広幅で、かつ、第1のスラブ導波路13側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路5を接続したことであり、台形状導波路5の斜辺3は実質的にほぼ直線と成している。

【0043】

図2に示すように、台形状導波路5は、対応する各光入力導波路12の幅(W1)よりも広幅(W3)の上底4を有しており、テーパ角度θで拡幅している。そして、このような構成により、台形状導波路5の幅は、台形状導波路5の全領域において、対応する光入力導波路12の幅よりも広幅と成している。また、台形状導波路5の下底6は僅かに曲線状と成しており、この下底6の幅はW4である。

【0044】

また、各直線導波路1の幅方向の中心は、対応する台形状導波路5の入射端の幅方向の中心と位置合わせされており、前記各直線導波路1は、各直線導波路1に接続されている光入力導波路12を伝搬してきた光信号のパワーの中心を直線導波路1の幅方向の中心に移動させて、該光信号パワー中心を台形状導波路5の入射端の幅方向の中心に入射させる光パワー中心位置調整手段と成している。直

線導波路1の幅はW2であり、その長さはL1である。

【0045】

本実施形態例において、上記パラメータは、以下のように形成されている。すなわち、光入力導波路12の幅W1 = 6.5 μm、直線導波路1の幅W2 = 3.0 μm、直線導波路1の長さL1 = 500 μm、台形状導波路5の上底4の幅W3 = 20.0 μm、角度θ = 0.4°、台形状導波路5の下底6の幅W4 = 35.0 μmである。また、本実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、波長1.55 μm帯において約0.8 nmの波長間隔で（言い換えれば波長間隔100 GHzで）光波長合分波を行なう機能を有するものとした。

【0046】

本実施形態例は以上のように構成されており、本実施形態例でも、従来のアレイ導波路回折格子と同様に、光入力導波路12には、例えば送信側の光ファイバが接続されて、波長多重光が導入されるようになっているが、本実施形態例では、光入力導波路12を通った光は、直線導波路1に入射し、直線導波路1によつて、光パワーの中心が直線導波路1の中心に移動させられ、光パワーの中心が台形状導波路5の幅方向の中心に入射する。

【0047】

そして、前記規格化周波数（V値）を2.4以上とすることにより、台形状導波路5に入射された光は導波路幅方向に一気に広がり、ついで、台形状導波路5において光電界振幅分布を変化させながら進行していく。そして、台形状導波路5がアレイ導波路14側に向かうにつれて拡幅していることから、光電界振幅分布の裾野部分は光の進行に伴って切り落とされていくと考えられ、光電界振幅分布は全体として分布幅を広げながら進行していく。

【0048】

図4には、この光電界振幅分布をシミュレーションした結果が示されている。同図に示すように、直線導波路1から台形状導波路5に入射した直後の光電界振幅分布は一山であり、その後、二山形状となり、台形状導波路5内で光電界振幅分布形状が変化していく、台形状導波路5の出射端（下底6）では四山形状になっている。

【0049】

また、図5には、台形状導波路5の出射端における光電界振幅分布形状が示されており、同図に示す光電界振幅分布は、両端側の山の間隔c'が大きく、落ち込み部分b'が小さく、しかも、裾野部分（両端側）の立ち上がりが図19に示した光電界振幅分布に比較して非常に良好である。

【0050】

本実施形態例によれば、光入力導波路12の出射側に、直線導波路1と台形状導波路5を接続することにより、光電界振幅分布を上記のように変化させ、台形状導波路5の出射端（言い換えれば第1のスラブ導波路13の入射面）における光の電界振幅分布を、図5に示すような四山の理想的な形状にできるので、1d B帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することができる。

【0051】

また、図4から明らかなように、上記光電界振幅分布は台形状導波路5の長手方向で変化していくので、台形状導波路5の長さを適宜設定することにより、台形状導波路5の出射端における光電界振幅分布形状を可変できる。したがって、本実施形態例の構成において、アレイ導波路回折格子型光合分波器の仕様などに応じて、台形状導波路5の長さや幅、テーパ角度θを設定することにより、上記特性を有するアレイ導波路回折格子型光合分波器を仕様に合わせて製造することができる。

【0052】

さらに、本実施形態例は、図17に示したような複雑な構成でなく、各光入力導波路12の出射側に、直線導波路1と、第1のスラブ導波路13側に向かうにつれて拡幅する斜辺3が実質的には直線の台形状導波路5を接続した簡単な構成であるため、容易に製造可能で、製造歩留まりの高いアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができます。

【0053】

(実施例)

以下、上記第1実施形態例の実施例について説明する。まず、上記第1実施形

態例の構成のアレイ導波路回折格子型光合分波器を、以下の製造方法によって製造した。すなわち、Si基板の上に火炎堆積法によって下部クラッド層(SiO₂が主成分)、コア層(例えばGeO₂を添加したSiO₂が主成分)を順次積層した後、全体を加熱して透明ガラス化し、ついで、フォトリソグラフィードライエッチングにより、図1に示した導波路構成をコアにより形成した。その後、火炎堆積法により上部クラッド層(SiO₂が主成分)を積層した後、全体を加熱して透明ガラス化して光合分波器とした。

【0054】

そして、このアレイ導波路回折格子型光合分波器を実施例1として、その光通過スペクトルを測定し、損失波長特性を求めた。その結果が図3に示されており、このアレイ導波路回折格子型光合分波器における1dB帯域幅は0.7nm、リップルは0.2dB、隣接クロストークは-28dBとなった。

【0055】

これらの各値を表1に示した提案例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における各値と比較すると明らかなように、実施例1のアレイ導波路回折格子型光合分波器は、上記各値が非常に良好な値で、合分波する光の中心波長付近における波長平坦性が優れ、かつ、隣接クロストークが低い、光合分波器として優れた特性を有することが確認できた。

【0056】

また、上記と同様の製造方法によって、表2に示すパラメータを有し、上記実施形態例と同様の導波路構成を有する3つのアレイ導波路回折格子型光合分波器を製造し、実施例2～4とした。なお、これらのアレイ導波路回折格子型光合分波器も、波長1.55μm帯において約0.8nmの波長間隔で光合分波を行なうものである。

【0057】

【表2】

	実施例2	実施例3	実施例4
光入力導波路1の幅W1(μm)	6.5	6.5	6.5
直線導波路1の幅W2(μm)	3.0	3.0	3.0
直線導波路1の長さL(μm)	500	500	500
台形状導波路5の上底4の幅W3(μm)	9.0	11.5	12.0
台形状導波路5の角度θ(°)	0.4	0.4	0.4
台形状導波路5の出力端幅W4(μm)	29.6	24.8	27.2

【0058】

そして、表2に示した実施例4において、上記実施形態例と同様に、光電界振幅分布をシミュレーションした結果、図6に示すように、台形状導波路5内で光電界振幅分布形状が複雑に変化し、台形状導波路5の出射端（下底6）では二山形状になった。また、台形状導波路5の出射端における光電界振幅分布形状は、図7に示すようになり、同図に示す光電界振幅分布は、山の間隔c'が大きく、落ち込み部分b'が小さく、しかも、裾野部分（両端側）の立ち上がりが図19に示した光電界振幅分布に比較して非常に良好であることが分かった。

【0059】

そして、実施例2～4について、損失波長特性を測定したところ、表3に示す結果が得られ、いずれも、その特性は、前記提案例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における損失波長特性（図18）に比べて良好であることが分かった。

【0060】

【表3】

	1dB帯域幅(nm)	リップル(dB)	隣接クロストーク(dB)
実施例2	0.47	0.2	-29
実施例3	0.44	0.3	-27
実施例4	0.52	0.3	-28

【0061】

なお、台形状導波路5の下底6における光電界振幅分布は、上記実施例1にお

いては四山形状であったのに対し、上記実施例4においては二山形状であったが、実施例4においても、その山の間隔は大きく、落ち込み部分が小さく、裾野部分（両端側）の立ち上がりが良好である。そのため、表3に示したように、実施例4においても、1dB帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供することができる。

【0062】

次に、実施例2の寸法を設計値として3つのアレイ導波路回折格子型光合分波器を製造し、それぞれにおける損失波長特性を測定したところ、表4に示す結果が得られ、製造ばらつきが非常に小さいことが確認された。なお、これらの光合分波器を、表4においては、第1～第3の光合分波器として示した。また、光合分波器1～3の特性も、提案例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における損失波長特性に比べて良好である。

【0063】

【表4】

	1dB帯域幅(nm)	リップル(dB)	隣接クロストーク(dB)
第1の光合分波器	0.48	0.2	-29
第2の光合分波器	0.47	0.3	-30
第3の光合分波器	0.49	0.3	-28

【0064】

そして、例えば1dB帯域幅が0.35nm以上、リップルが0.5dB以下、隣接クロストークが-26dB以下を規格とした場合も、この規格のうち1dB帯域幅を0.4nm以上とした場合も、表4に示した全てのアレイ導波路回折格子型光合分波器が合格となっている。

【0065】

以上のように、各実施形態例によって、上記第1実施形態例の有効性がより一層確実に確認できた。

【0066】

次に、本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第2実施形態例につ

いて説明する。なお、本第2実施形態例の説明において、上記第1実施形態例との重複説明は省略する。図8には、本第2実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器における光入力導波路12の出射側と第1のスラブ導波路13との接続構造が示されている。本第2実施形態例は上記第1実施形態例とほぼ同様に構成されており、本第2実施形態例が上記第1実施形態例と異なる特徴的なことは、直線導波路1を省略し、光入力導波路12の出射側に台形状導波路5を直接接続したことである。

【0067】

本実施形態例では、光入力導波路12を伝搬する光強度の中心位置が光入力導波路12の幅方向中心位置からずれないように設計しており、したがって、上記第1実施形態例に設けた直線導波路1を省略しても、台形状導波路5によって光電界振幅分布を適切に変化させ、上記第1実施形態例と同様の作用により同様の効果を奏すことができる。

【0068】

なお、本第2実施形態例において、光入力導波路12の幅 $W1 = 6.5 \mu m$ 、台形状導波路5の上底4の幅 $W3 = 20.0 \mu m$ 、角度 $\theta = 0.4^\circ$ 、台形状導波路5の下底6の幅 $W4 = 35.0 \mu m$ とした場合の、光電界振幅分布シミュレーション結果が図9に示されており、台形状導波路5の下底6における光電界振幅分布形状が図10に示されている。これらの図に示すように、本第2実施形態例でも上記第1実施形態例と同様に、台形状導波路5の出射端における光の電界振幅分布を、山の間隔 c' が大きく、落ち込み部分 b' が小さく、裾野の立ち上がりが良好な理想的な形状にできる。

【0069】

そのため、本第2実施形態例も上記第1実施形態例と同様に、1dB帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低いアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができます。

【0070】

なお、上記各実施形態例の比較例として、図11には、光入力導波路12の出射側にパラボリックテーパ導波路20を接続した導波路構成が示されており、図

12には、光入力導波路12の出射側にマルチモードインターフェース導波路21を接続した導波路構成が示されている。

【0071】

図11に示す構成は、特開平09-297228号にNTTが提案したアレイ導波路格子の構成であり、図12に示す構成は、US Pat. 5629992にBell Communication Research Inc. が提案したPassband Flattening of Integrated Optical Filtersの構成である。

【0072】

これらの構成において、光入力導波路12の幅 $W_1 = 6.5 \mu m$ 、パラボリックテープ導波路20の長さ $L_8 = 900 \mu m$ 、パラボリックテープ導波路20の出力端幅 $W_8 = 50 \mu m$ 、マルチモードインターフェース導波路21の長さ $L_9 = 500 \mu m$ 、マルチモードインターフェース導波路21の幅 $W_9 = 25 \mu m$ とし、光の電界振幅分布をビーム伝搬法によりシミュレーションした結果、図11の構成における光電界振幅分布は図13に示すようになり、図12の構成における光電界振幅分布は図14に示すようになった。

【0073】

図13に示すように、パラボリックテープ導波路20を有する構成における光電界振幅分布は殆どが一山であり、上記各実施形態例における光電界振幅分布変化のように変化しないし、図14に示すように、マルチモードインターフェース導波路21を有する構成における光電界振幅分布は、その出射端において三山形状となっているが、この形状は、図15に示すように、裾野部分a1、a2の立ち上がりが悪い。さらに、パラボリックテープ導波路20は、斜辺が曲線であるために、設計通り形成することが難しく、製造歩留まりが悪い。

【0074】

したがって、各比較例は、いずれも、上記各実施形態例で示したような、本発明における優れた作用効果を發揮することはできず、上記各実施形態例のような本発明の新たな構成によって初めて、上記優れた効果を奏することができる優れたアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供できることを確認できた。

【0075】

なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を探り得る。例えば、上記各実施形態例では、各光入力導波路12の出射側に台形状導波路5を設けたが、少なくとも1本以上の光入力導波路12の出射側に台形状導波路5を設けてもよいし、各出力導波路16の入射側に第2のスラブ導波路15側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路を接続してもよいし、少なくとも1本以上の光出力導波路16の入射側に第2のスラブ導波路15に向かうにつれて拡幅する台形状導波路を接続してもよいし、各光入力導波路12の出射側と各出力導波路16の入力側の両方に台形状導波路を設けてもよい。また、少なくとも1本以上の光入力導波路12の出射側と少なくとも1本以上の光出力導波路16の入射側の両方に台形状導波路を設けてもよい。

【0076】

また、少なくとも1本以上の光出力導波路16側に台形状導波路を設ける場合に、該出力導波路16と台形状導波路の間に、上記第1実施形態例のような直線導波路1を介設してもよい。

【0077】

なお、光出力導波路16側に台形状導波路を設ける場合は、台形状導波路の幅を光出力導波路16の幅よりも広幅と成し、各出力導波路16と台形状導波路の間に直線導波路1を介設する場合は、該直線導波路1の幅を光出力導波路16の幅よりも狭幅と成すようにする。

【0078】

さらに、本発明において、台形状導波路の幅や長さやテーパ角度、直線状導波路の長さや幅等は特に限定されるものではなく適宜設定されるものであり、例えば図4に示したような光電界振幅分布のシミュレーション結果に基づいて、アレイ導波路回折格子型光合分波器の仕様に合わせて上記各値を設定することにより、上記各実施形態例のような優れた効果を奏するアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができます。

【0079】

【発明の効果】

本発明によれば、例えば光入力導波路の出射側に、アレイ導波路側に向かうに

つれて拡幅する斜辺が実質的には直線の台形状導波路を接続し、この台形状導波路の幅を光入力導波路幅より広幅とすることにより、光を台形状導波路の幅方向に一気に広げ、アレイ導波路側に向かうにつれて光電界振幅分布の裾野部分の立ち上がりを良好にし、かつ、光電界振幅分布の山形状の間隔を広くしていくことができると考えられ、この効果によって、第1のスラブ導波路の入射面において、光入力導波路側から第1のスラブ導波路に入射する光の電界振幅分布を例えば2山以上の適正な形状にできる。

【0080】

したがって、本発明によれば、1dB帯域幅が広く、リップルが小さく、隣接クロストークが低い、波長多重用光合分波器として非常に優れた性能のアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができます。また、上記本発明の構成は、簡単な構成であるため、容易に製造可能で、製造歩留まりの高いアレイ導波路回折格子型光合分波器とすることができます。

【0081】

また、アレイ導波路回折格子型光合分波器は、光回路の相反性を有しているために、本発明において、光出力導波路の入射側に、アレイ導波路側に向かうにつれて拡幅する斜辺が直線の台形状導波路を接続し、この台形状導波路の幅を光出力導波路幅より広幅とした場合も、同様の効果を奏すことができる。

【0082】

さらに、各光入力導波路と台形状導波路との間に光入力導波路よりも狭幅の直線導波路を介設した本発明によれば、光入力導波路が曲線部を有していて、光がこの曲線部を伝搬するときに光強度分布の中心位置が光入力導波路幅方向中心位置からずれたとしても、直線導波路を通るときに光強度分布の中心位置を直線導波路中心に移動させることができ、光強度中心を台形状導波路の幅方向中心に入射できるため、台形状導波路を出射する光強度分布形状を全体的に歪みの無いものとすることができます。

【0083】

また、アレイ導波路回折格子型光合分波器は、光回路の相反性を有しているために、各光出力導波路と台形状導波路との間に光出力導波路よりも狭幅の直線導

波路を介設した本発明においても、上記と同様の効果を奏することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第1実施形態例を模式的に示す構成図である。

【図2】

上記実施形態例における光入力導波路の出力端側構成を具体的に示す説明図である。

【図3】

上記第1実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器の実施例1における波長損失特性を示すグラフである。

【図4】

上記実施形態例における光入力導波路と直線導波路と台形状導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図5】

上記実施形態例における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図6】

上記実施形態例のアレイ導波路回折格子型光合分波器の実施例4における光入力導波路と直線導波路と台形状導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図7】

上記実施例4における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図8】

本発明に係るアレイ導波路回折格子型光合分波器の第2実施形態例における光入力導波路出力端側構成を示す説明図である。

【図9】

上記第2実施形態例における光入力導波路と台形状導波路を伝搬する光電界振

幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図10】

上記第2実施形態例における台形状導波路の出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図11】

本発明の比較例における光入力導波路の出力端側構成を示す説明図である。

【図12】

本発明の他の比較例における光入力導波路の出力端側構成を示す説明図である

【図13】

図11に示した構成における光入力導波路とパラボリックテーパ導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図14】

図12に示した構成における光入力導波路とマルチモードインターフェース導波路を伝搬する光電界振幅分布を立体的に示すシミュレーション結果の説明図である。

【図15】

図12に示した構成におけるマルチモードインターフェース導波路出力端における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図16】

従来提案されているアレイ導波路回折格子型光合分波器の一例を示す説明図である。

【図17】

図16に示したアレイ導波路回折格子型光合分波器における光入力導波路の出力端側構成を示す説明図である。

【図18】

図16に示したアレイ導波路回折格子型光合分波器の波長損失特性例を示す説明図である。

【図19】

図17に示した構成の広幅導波路部9の出力端側における光電界振幅分布を示すグラフである。

【図20】

従来の一般的なアレイ導波路回折格子型光合分波器の構成を示す説明図である

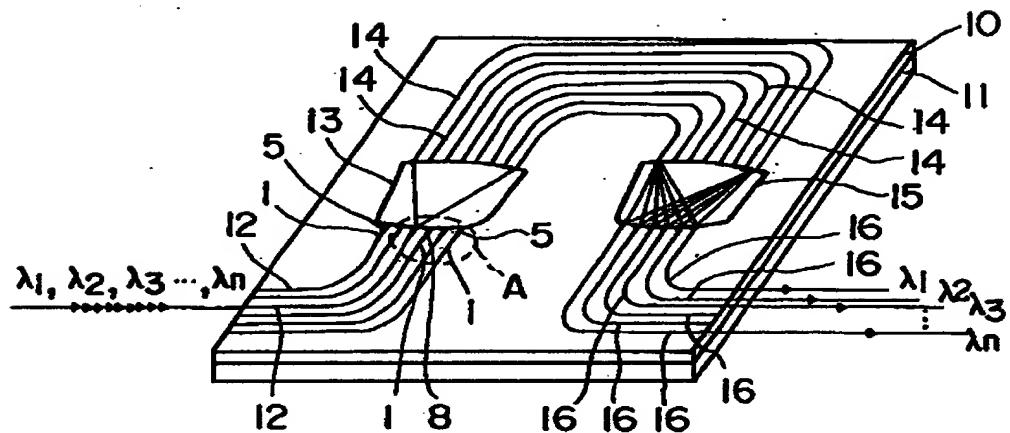
【符号の説明】

- 1 直線導波路
- 3 斜辺
- 4 上底
- 5 台形状導波路
- 6 下底
- 1 1 基板
- 1 2 光入力導波路
- 1 3 第1のスラブ導波路
- 1 4 アレイ導波路
- 1 5 第2のスラブ導波路
- 1 6 光出力導波路

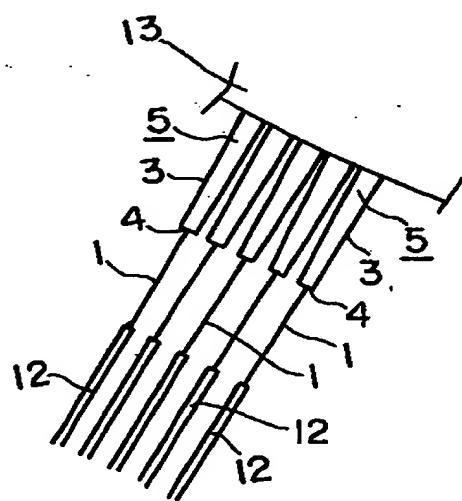
【書類名】 図面

【図1】

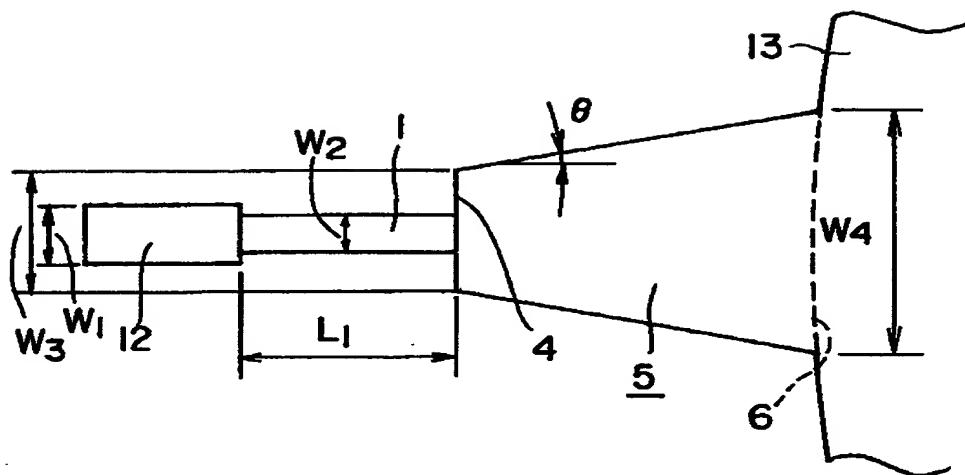
(a)



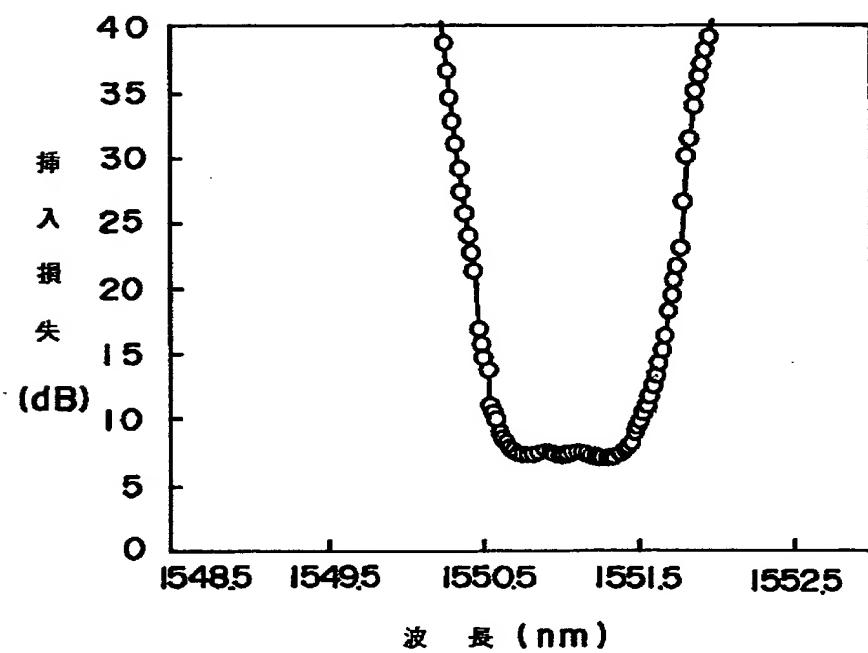
(b)



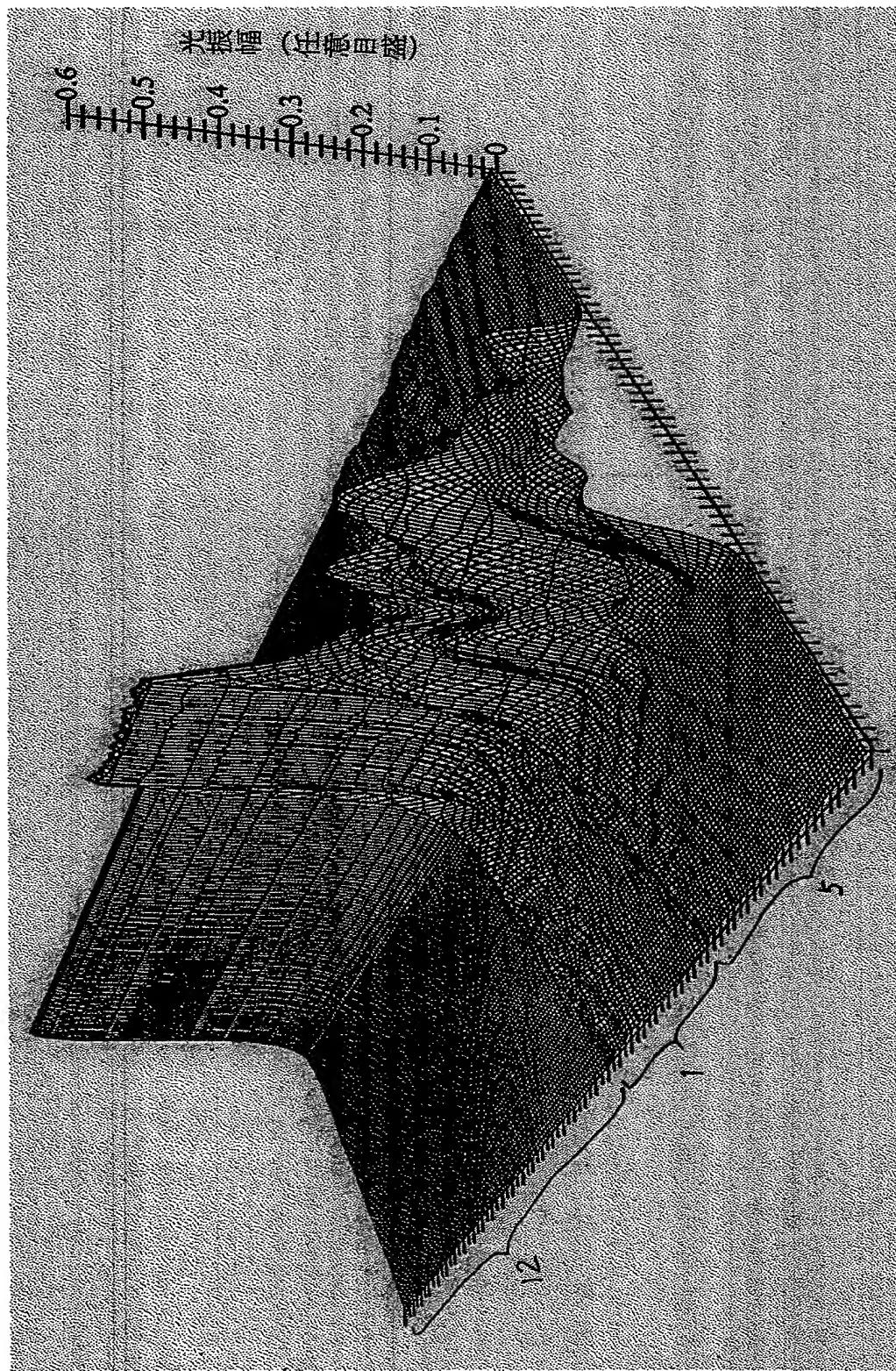
【図2】



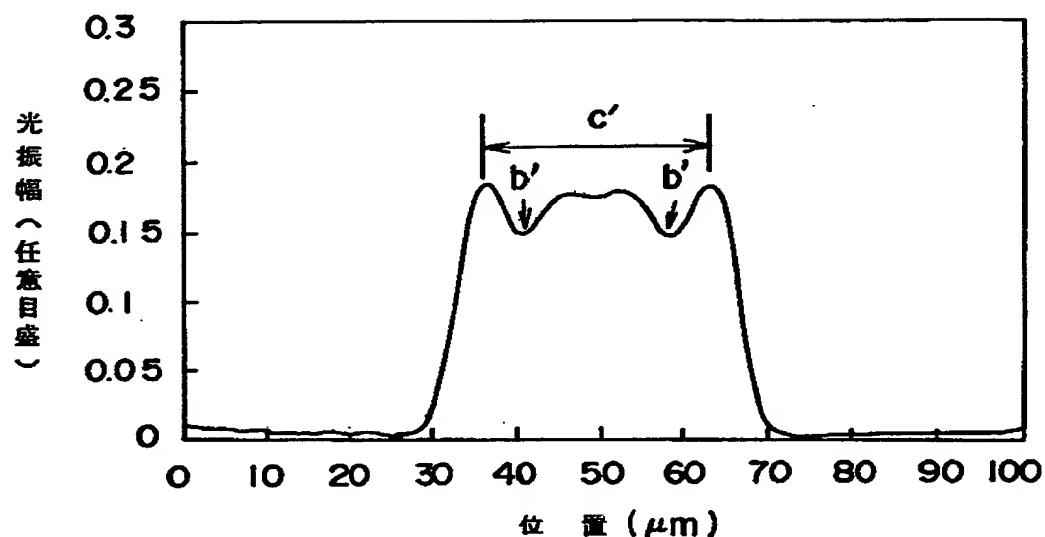
【図3】



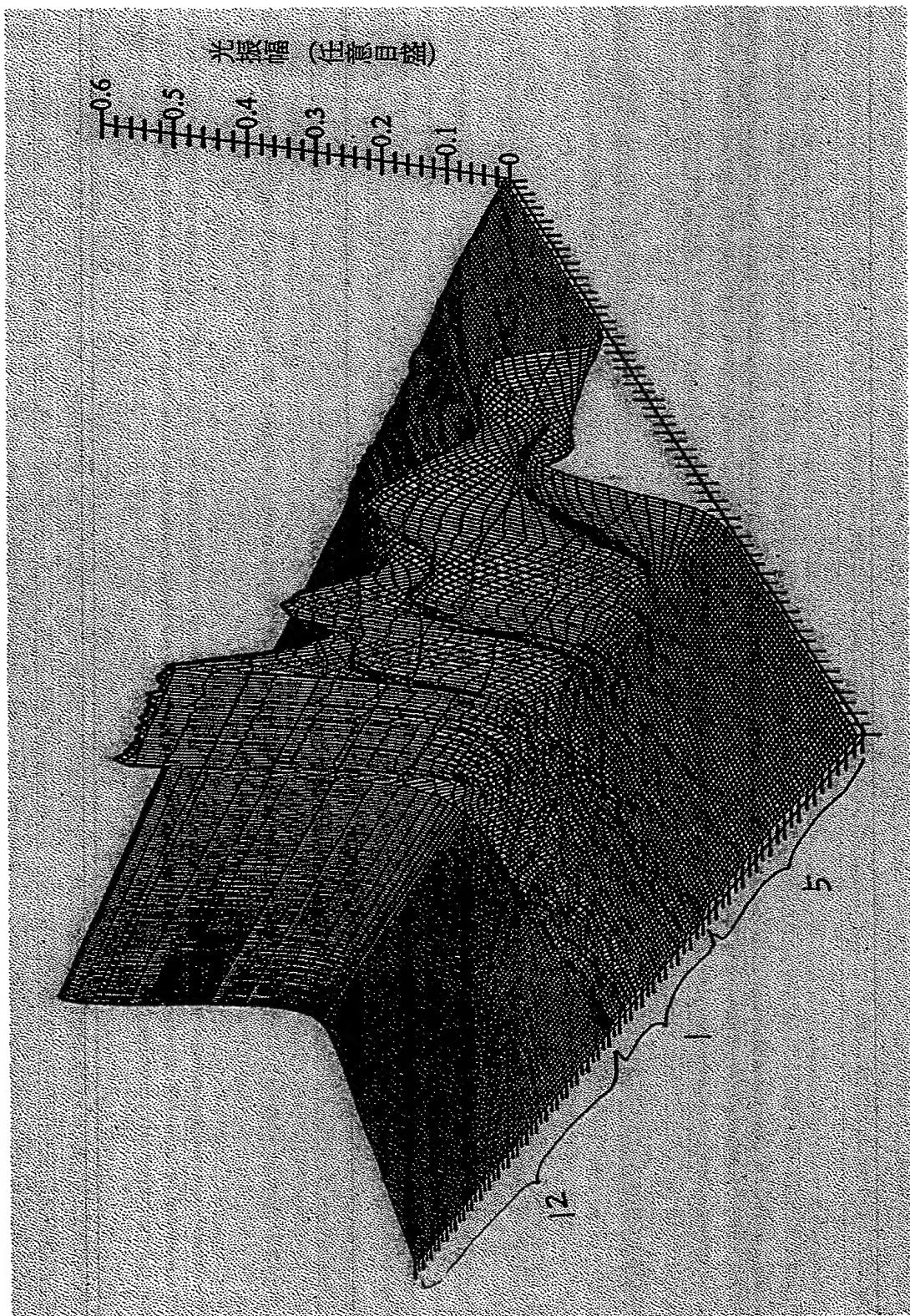
【図4】



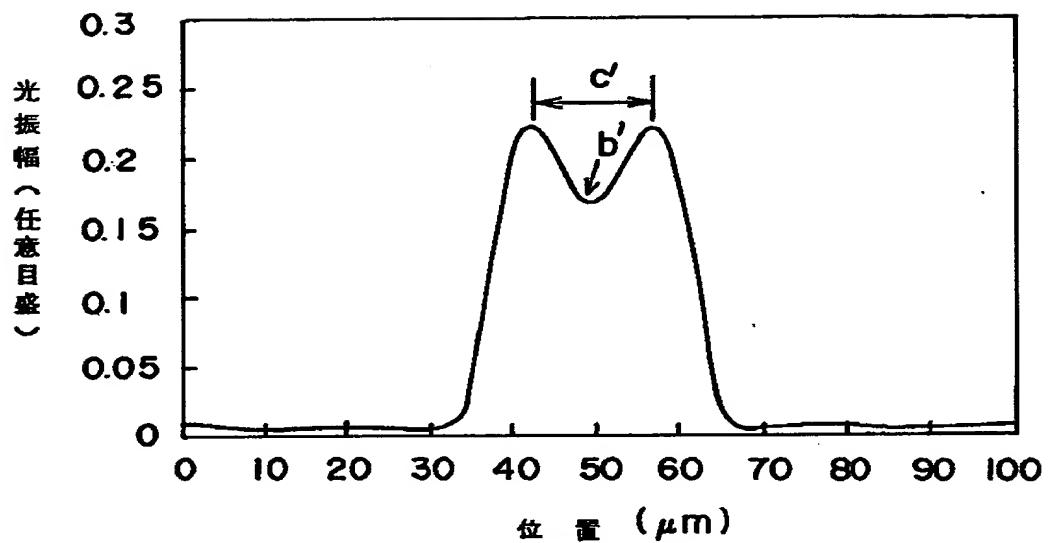
【図5】



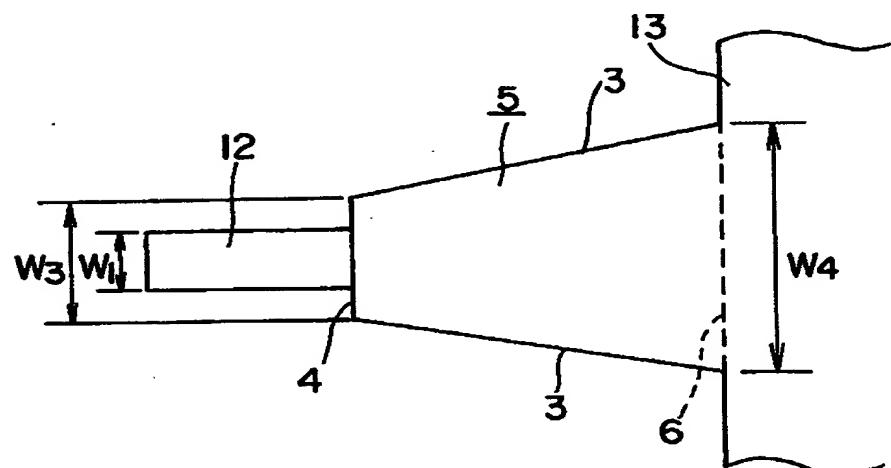
【図6】



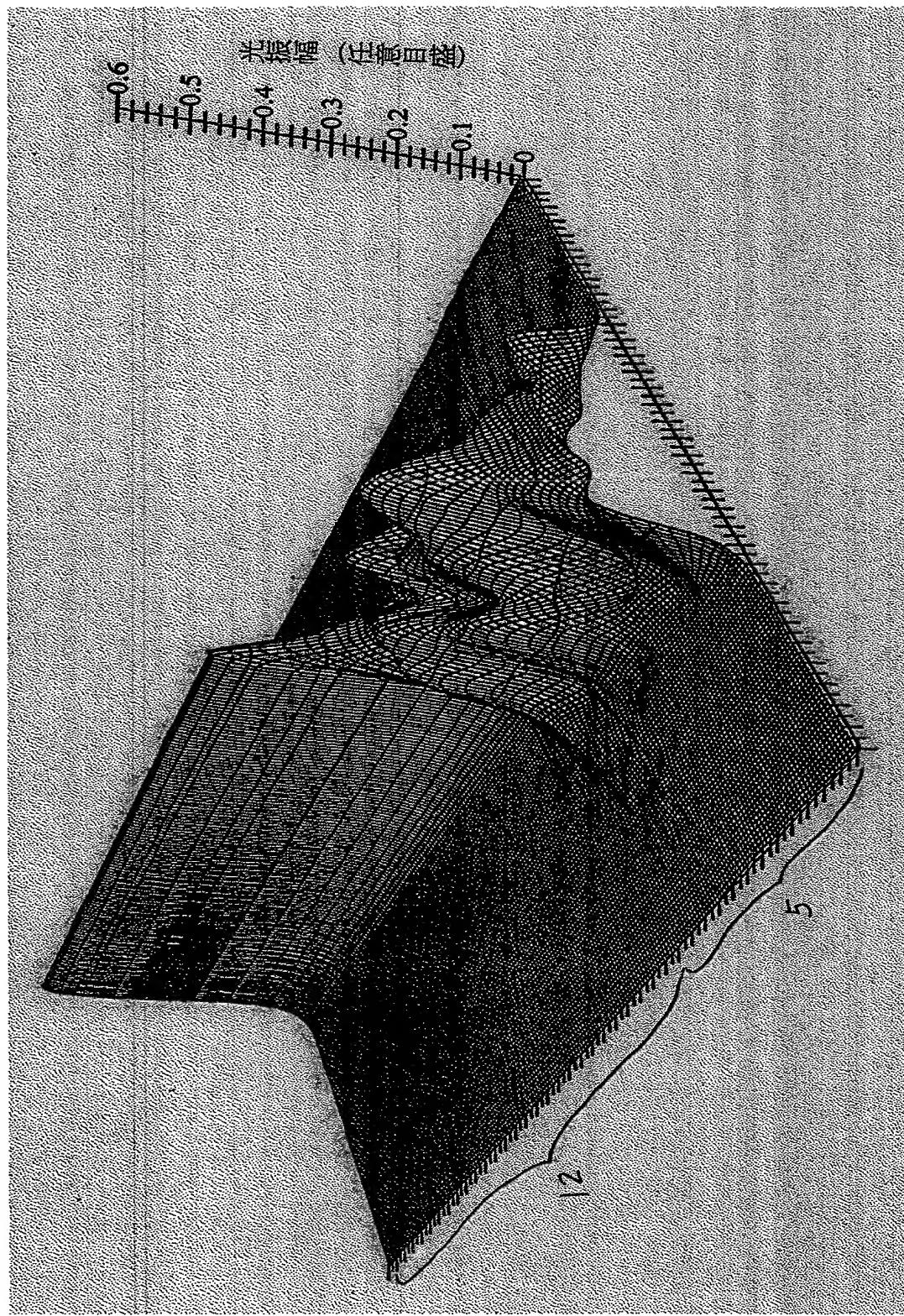
【図7】



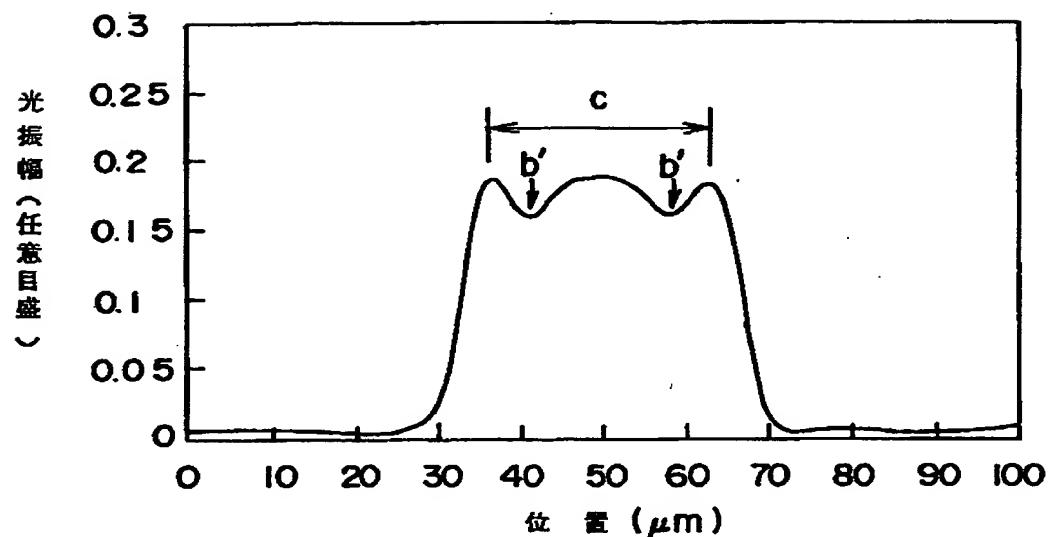
【図8】



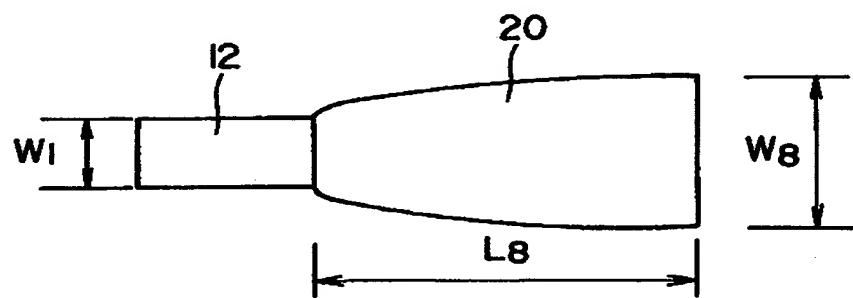
【図9】



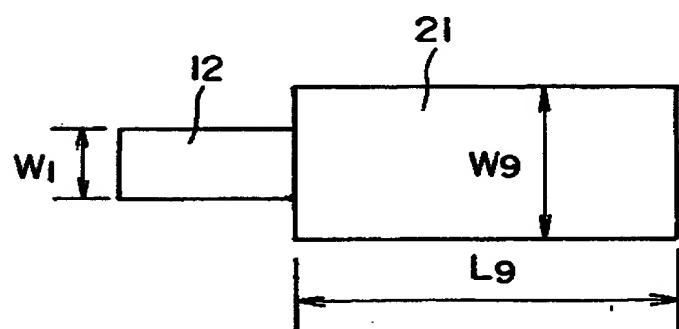
【図10】



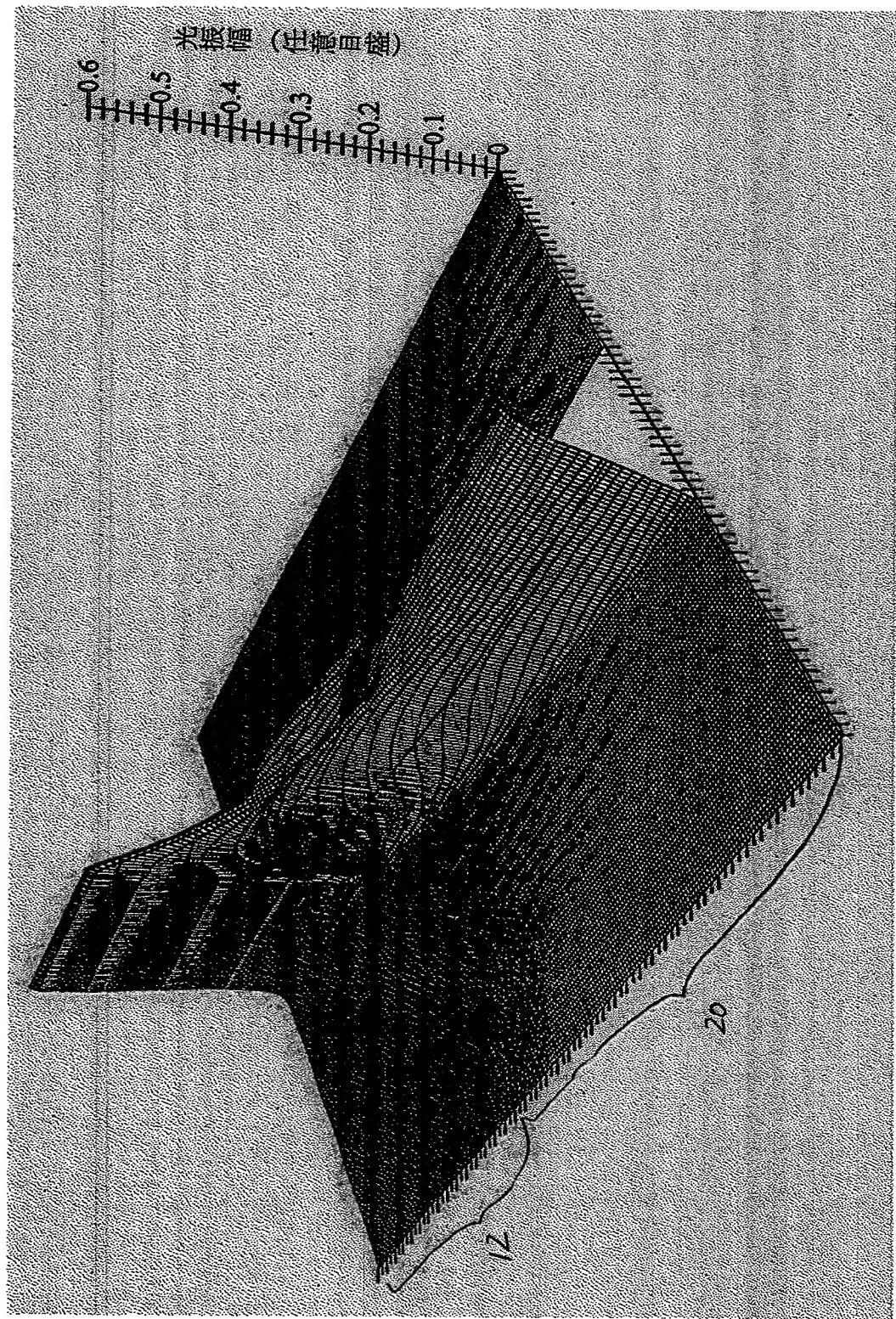
【図11】



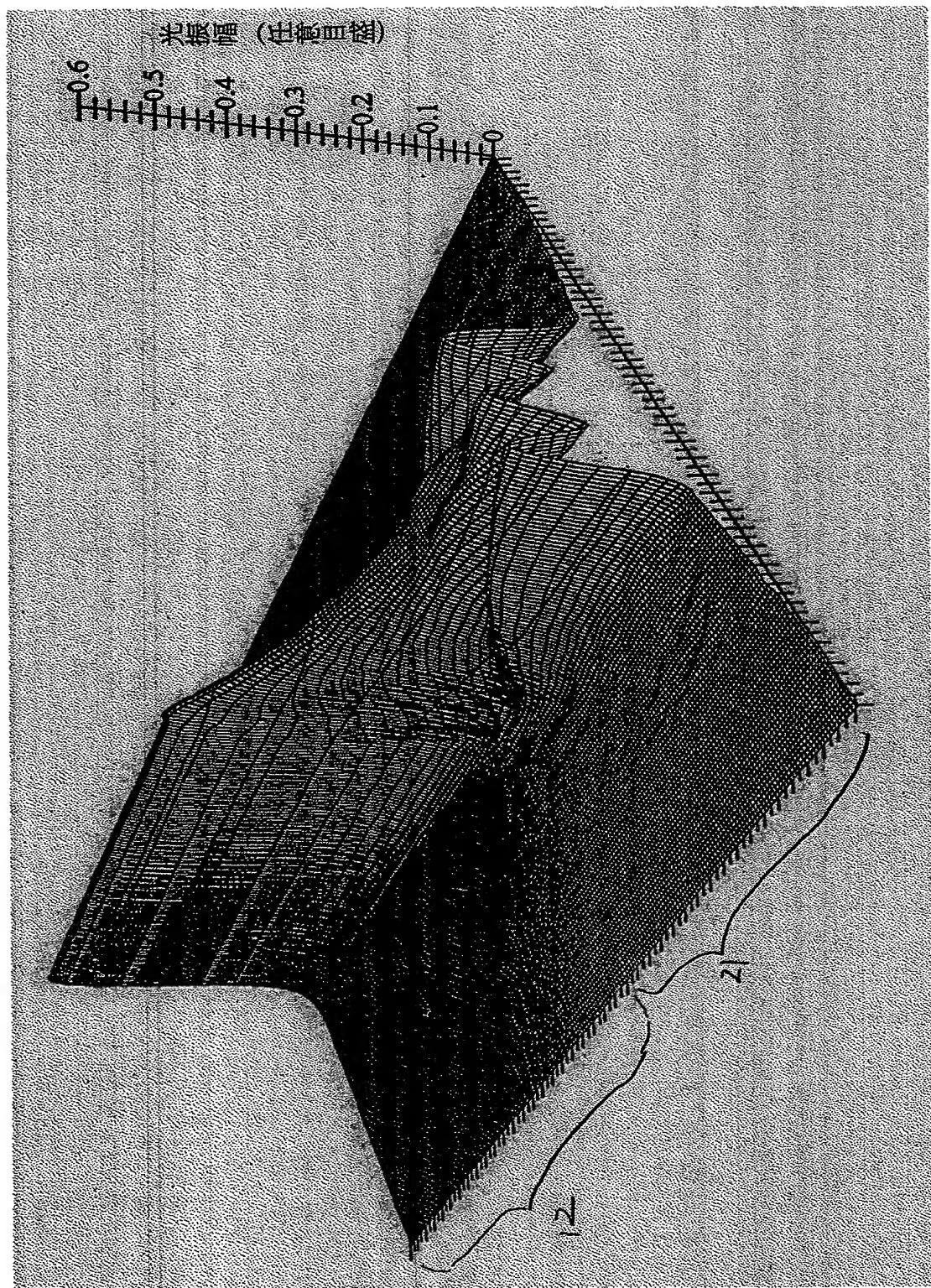
【図12】



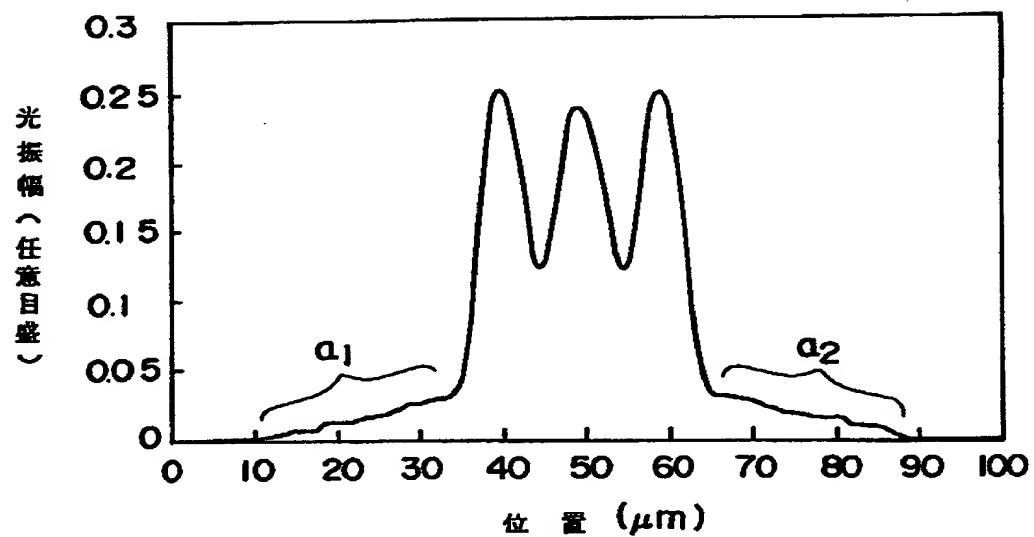
【図13】



【図14】

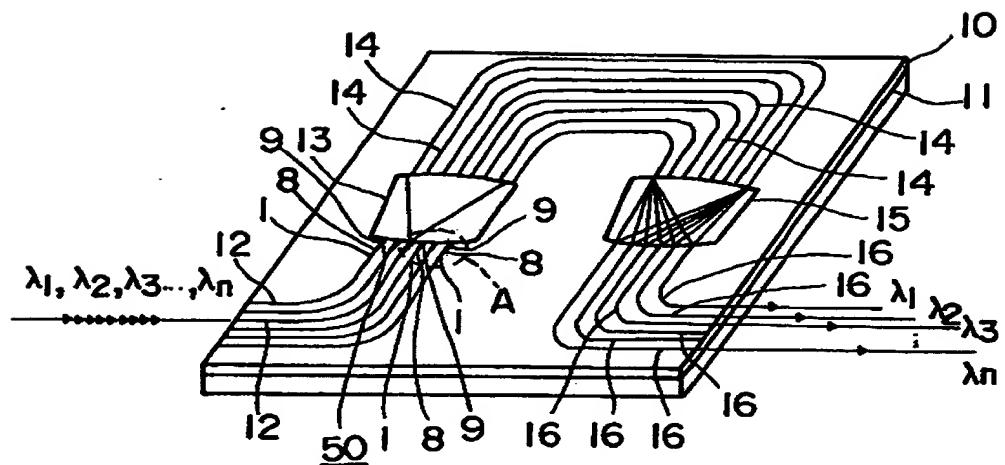


【図15】

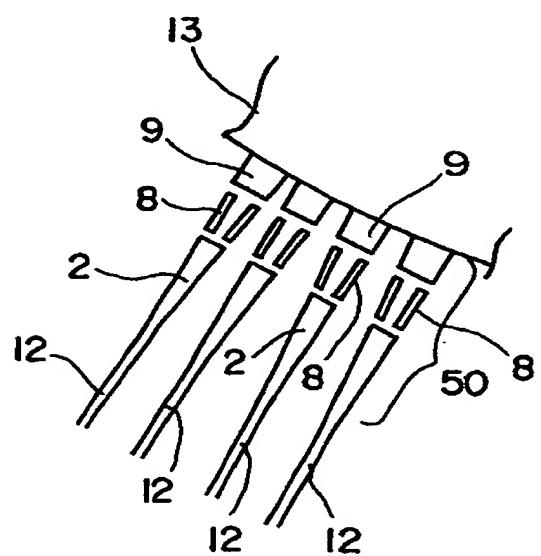


【図16】

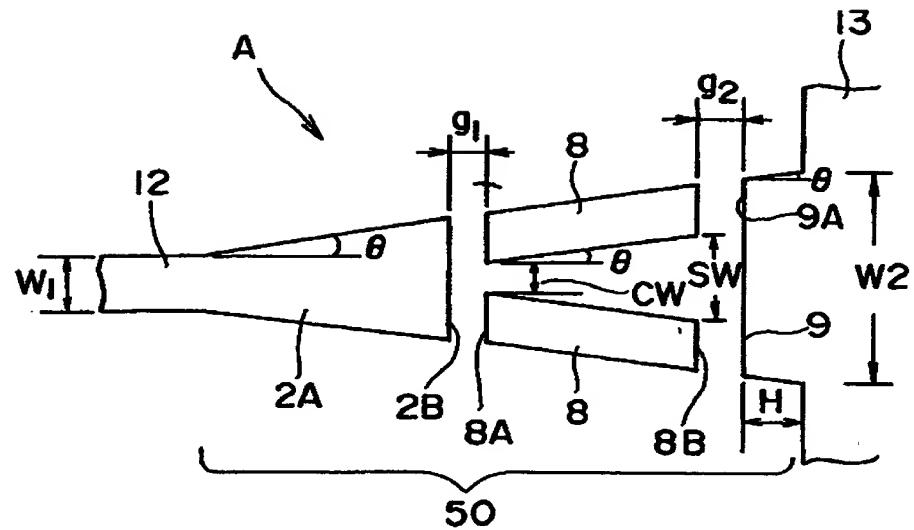
(a)



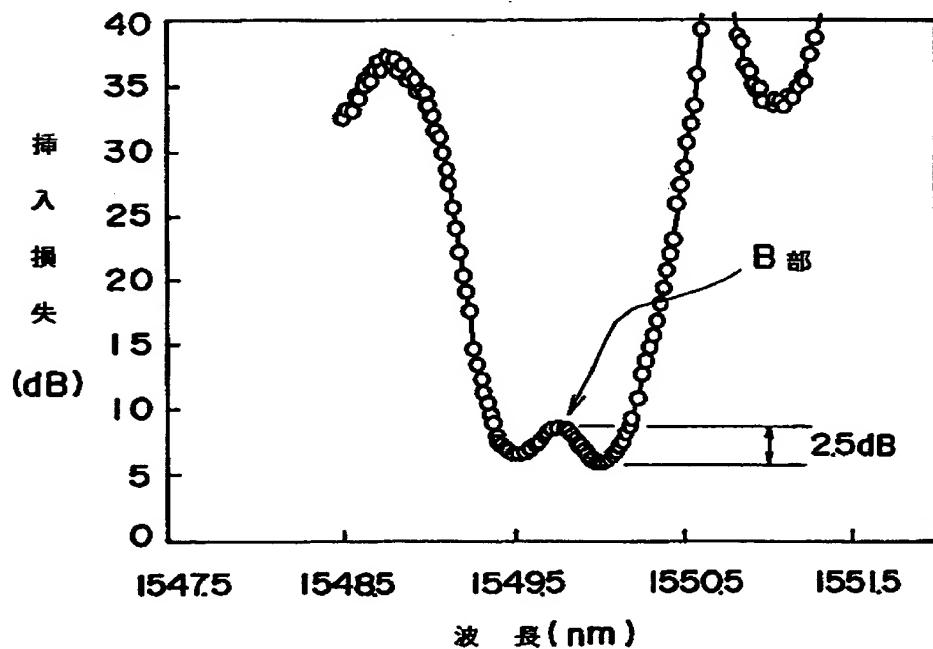
(b)



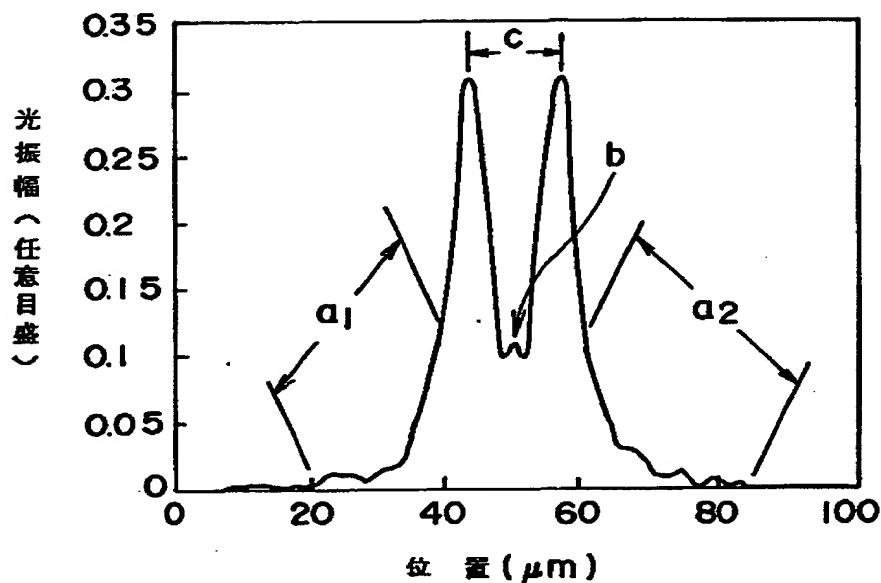
【図17】



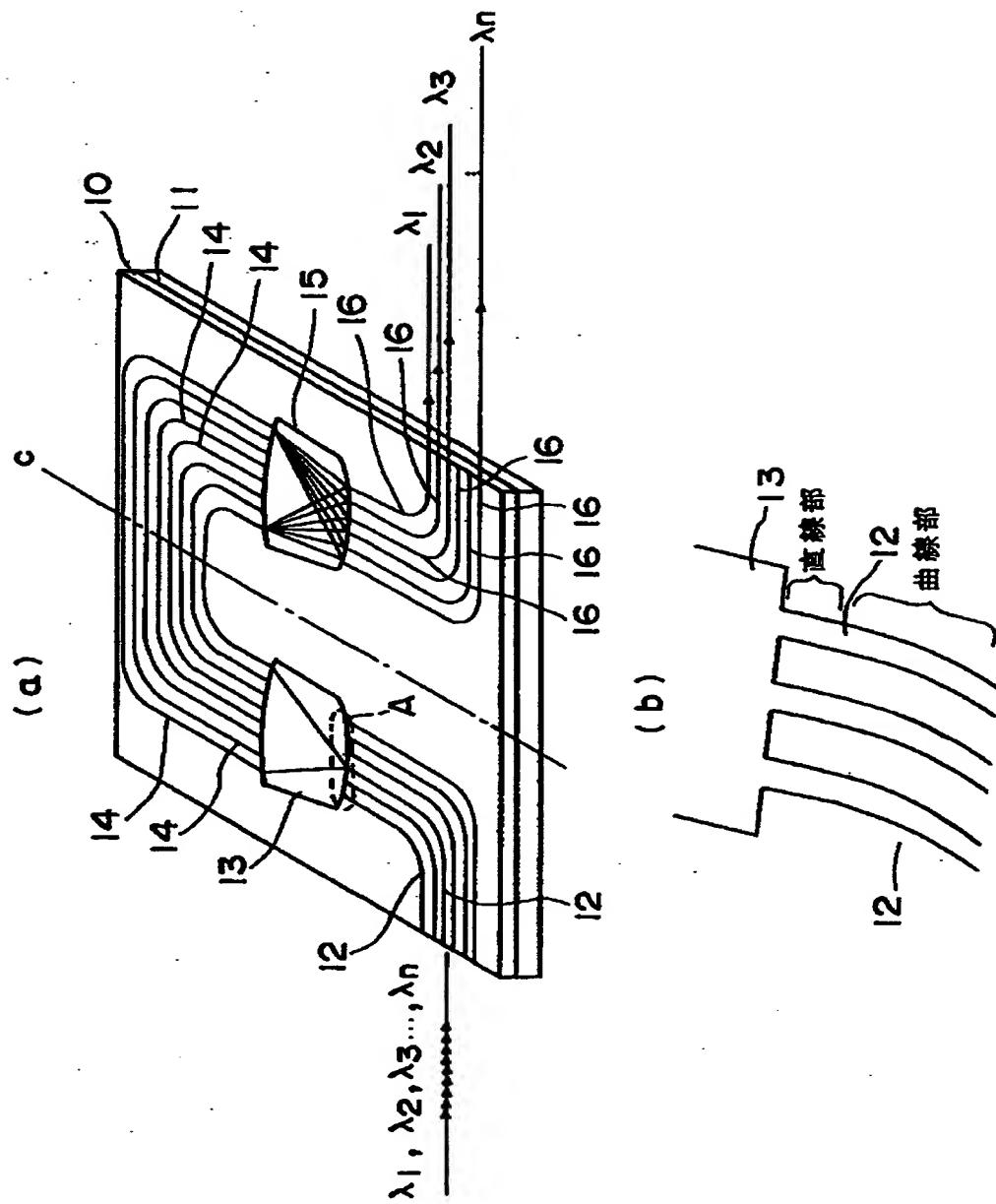
【図18】



【図19】



【図20】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 1 dB帯域幅が大きく、リップルが小さく、隣接クロストークの劣化を抑制できるアレイ導波路回折格子型光合分波器を提供する。

【解決手段】 光入力導波路12と、第1のスラブ導波路13と、互いに異なる長さの複数の並設したアレイ導波路14と、第2のスラブ導波路15と、複数の並設した光出力導波路16とを順に接続してなる導波路形成部10を基板11上に形成する。少なくとも1本以上の光入力導波路12の出射側に、光入力導波路12より狭幅の直線導波路1を設け、その出射側に、アレイ導波路14側に向かうにつれて拡幅する台形状導波路5を設ける。台形状導波路5の上底4を光入力導波路12の幅より広くする。

【選択図】 図1

出願人履歴情報

識別番号 [000005290]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号
氏 名 古河電気工業株式会社